

# 河川堤防の地震対策の高度化 に向けた取組み

---

独立行政法人土木研究所  
地質・地盤研究グループ  
佐々木哲也

# 内容

---

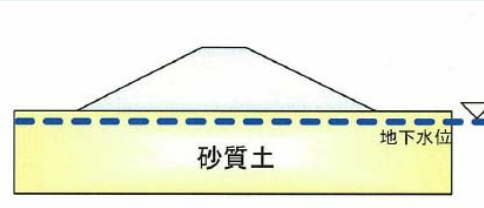
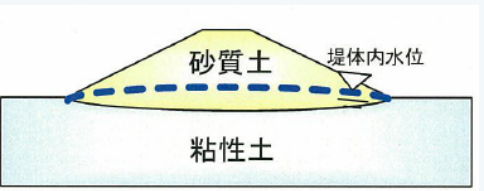
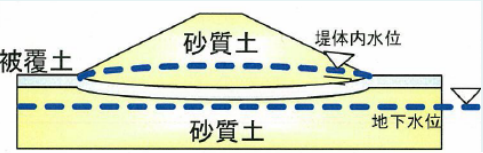
1. 東日本大震災における河川堤防被害と対応
2. 河川堤防の耐震性照査手法の高度化
3. 堤体液状化の対策工法の検討
4. まとめと今後の課題

# 1. 東日本大震災における 河川堤防被害と対応

---

# 河川堤防の被災パターン

東北地整管内, 関東地整管内で広域にわたって2,000箇所以上で被害が発生  
地震動による堤防の大規模な被害の原因は液状化

被災要因	堤体土構成	被災メカニズム
基礎地盤の液状化		基礎地盤の液状化
堤体の部分液状化		基礎地盤の圧密沈下により地下水位以下の堤体が液状化
上記の複合		堤体, 基礎地盤とも砂質土で両者が液状化

- ・基礎地盤の液状化による被災に加え, 堤体の液状化による被災も多発
- ・堤体の液状化による被災は, これまで堤防被災として主眼が置かれていなかった被災

# 堤体の液状化による被害事例－阿武隈川・枝野－



天端の状況



川裏側のり尻付近



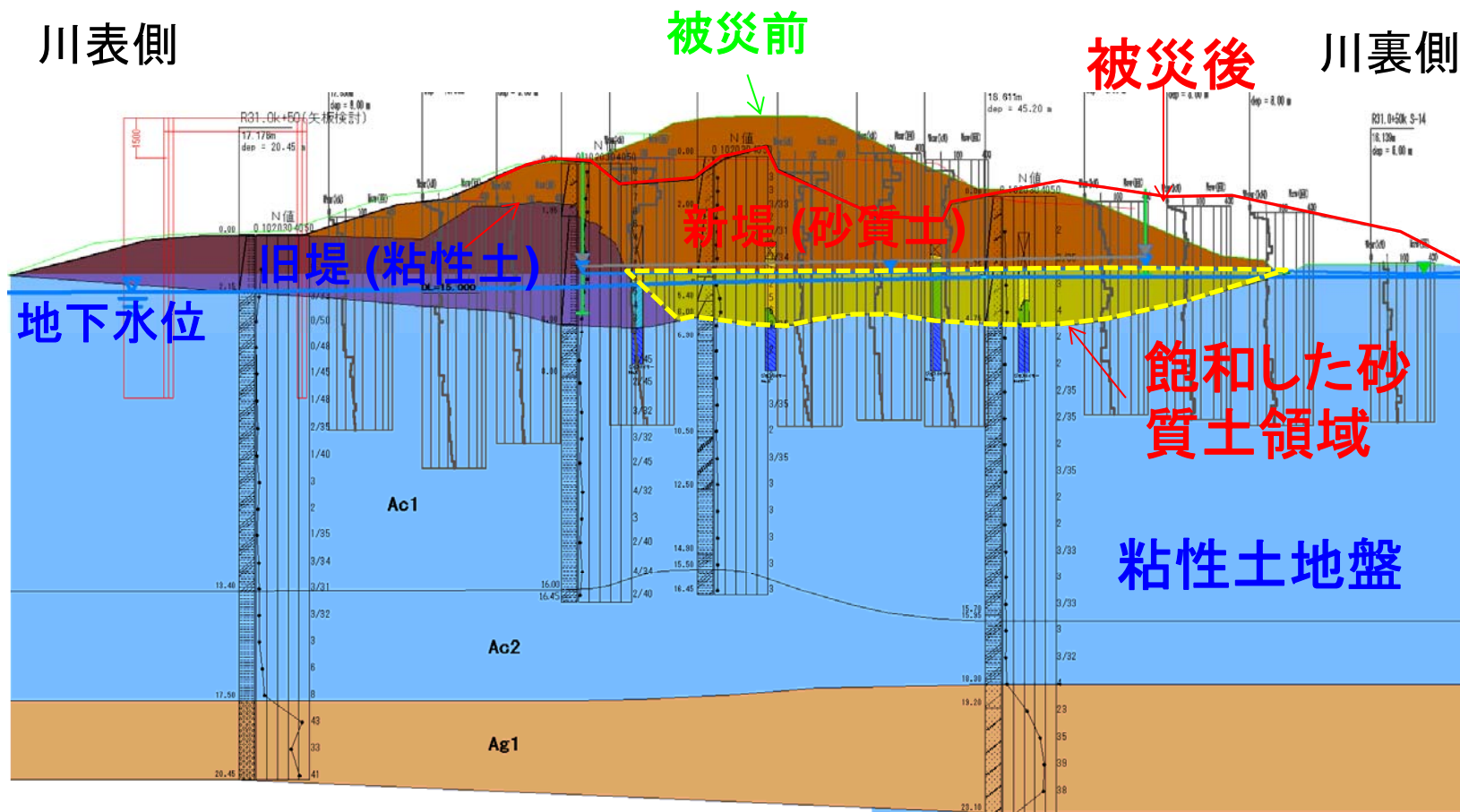
堤体の亀裂内の  
噴砂

- 約800mにわたって天端が陥没. 沈下量は最大で2m程度.
- 川裏側の耕作地を崩壊した堤体土が覆う
- 堤体の亀裂内, 川裏側崩土先端に噴砂痕

# 堤体の液状化による被害事例－阿武隈川・枝野－

図：東北地方整備局

ボーリング・サウンディング結果



# 指針類, 地震対策事業への反映

## ①河川構造物の耐震性能照査指針・解説, 2012年2月改定

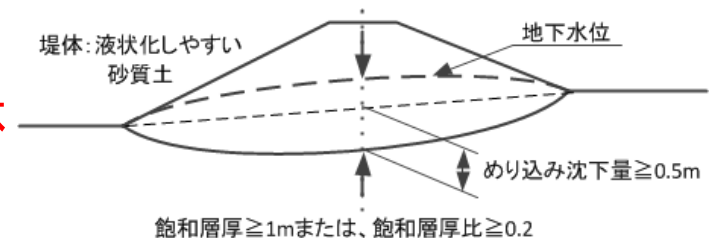
☆改訂のポイント

- ①堤体液状化, ②施設計画上の津波, ③地殻変動に伴う広域な地盤沈降の考慮

## ②レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル, 2012年2月策定

☆ポイント

- ・地形区分, 液状化層厚等によるスクリーニング
- ・堤体の液状化に関する点検①堤体土質, ②堤体内水位等による堤体液状化被害の可能性を判定
- ・基礎地盤の液状化については従来手法を適用



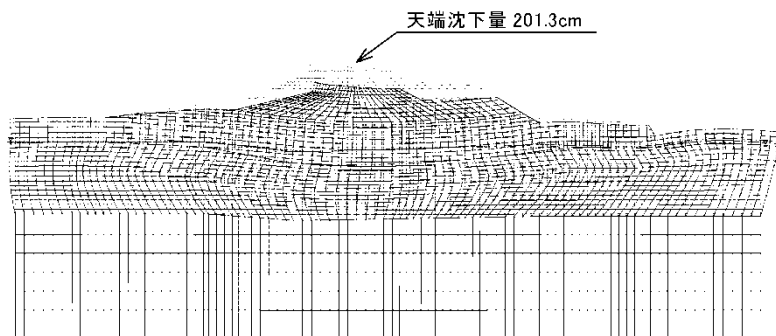
## ③河川堤防の震災復旧, 地震対策事業への反映

☆ポイント

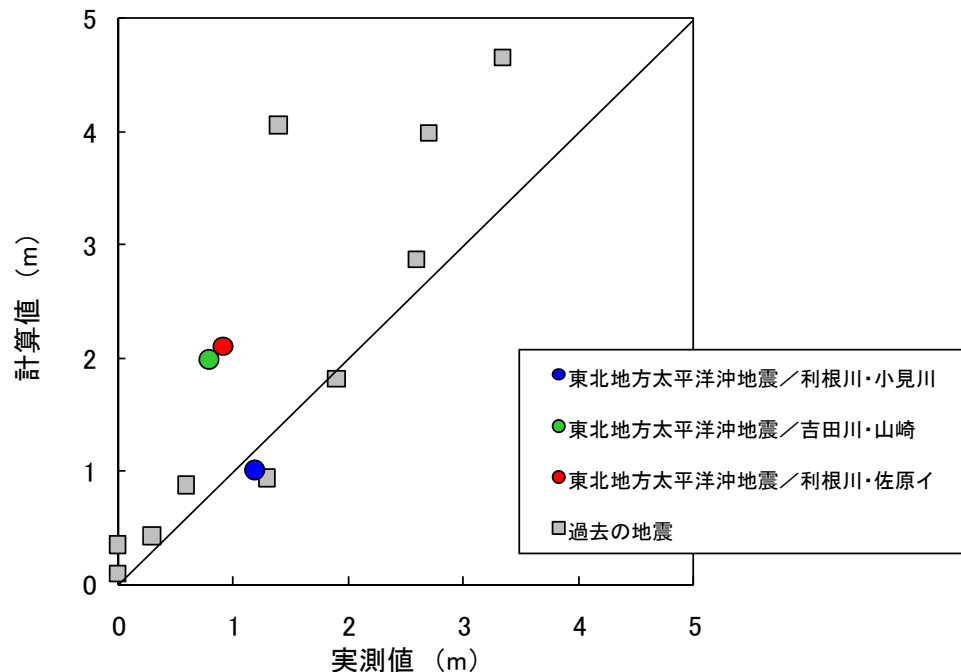
東日本大震災を踏まえた当面の耐震対策

- ①堤体液状化に対する対策工法(地下水位低下, のり尻安定化)
- ②基礎地盤の液状化対策工法(土研マニュアルの適用)

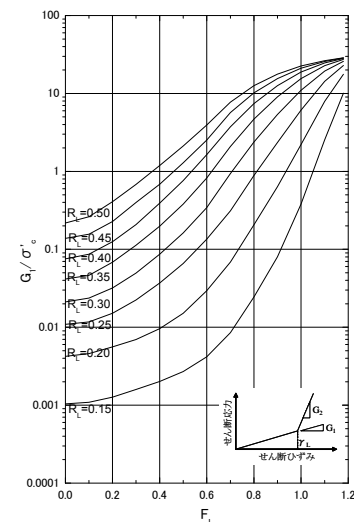
# 堤防の耐震性能照査手法の検証



自重による変形量の算定  
地震後の天端高 > 照査外水位であることを照査



東日本大震災における被災事例を対象とした検証結果



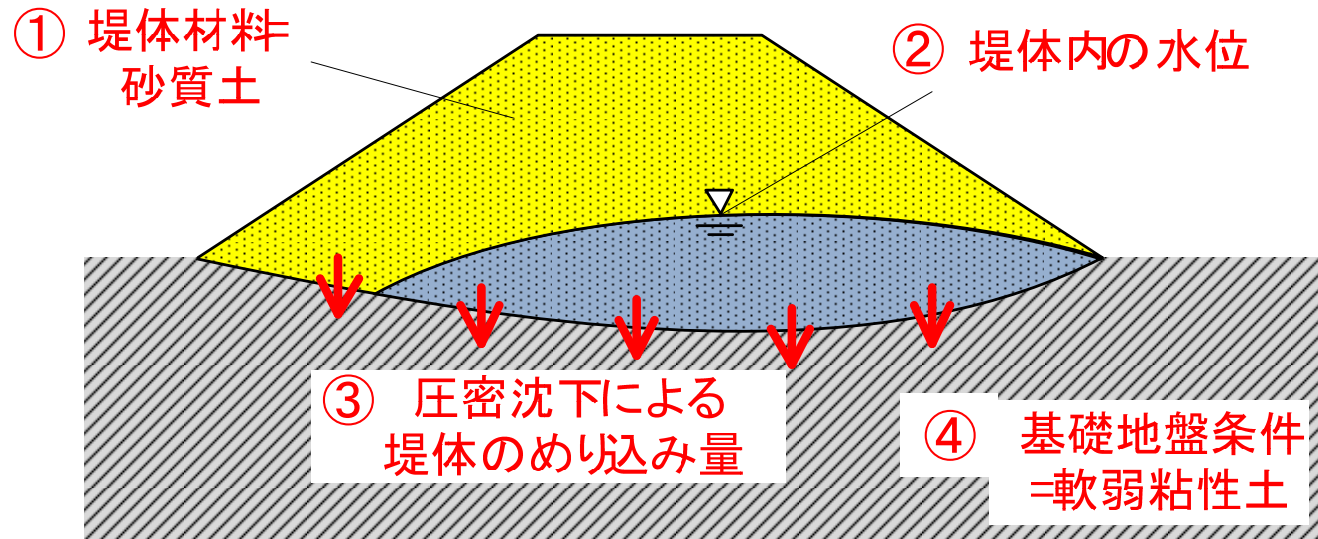
液状化の程度に応じた物性の評価

- **基礎地盤の液状化**に対しては、  
従来手法により安全側に評価  
→ **当面は従来法を適用**
- **堤体液状化**については危険側に評価  
→ **別途診断法を提案**





# 堤体の液状化による被害の主要要因



## ①堤体材料＝砂質土

堤体の液状化が原因と推定される大規模被災箇所での堤体材料としては、細粒分が少なく低塑性のものが多い傾向にある。

## ②堤体内の水位

堤体内の水位が高く、飽和した堤体の範囲が広いほど大きな変形が生じやすいと考えられる。

被災区間と隣接する無被災区間で堤体内水位の顕著な差が認められた箇所も存在した。

## ③圧密沈下による堤体のめり込み量

めり込みにより、飽和しやすい堤体の領域が増える。また、めり込みに伴う堤体の側方伸張変形により、密度の低下や拘束力の低下(ゆるみ)が生じ、より液状化しやすく変形しやすい状態となっている可能性もある。

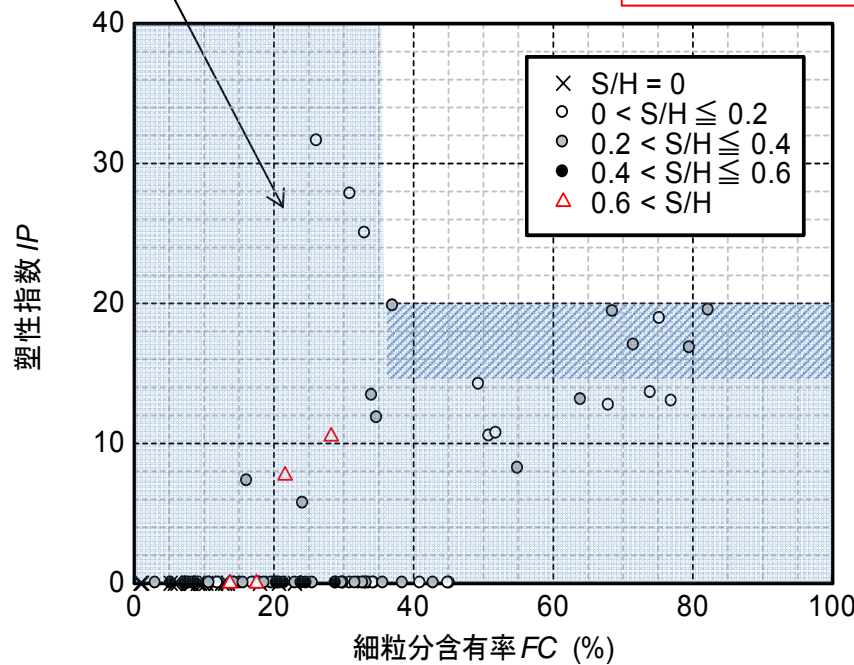
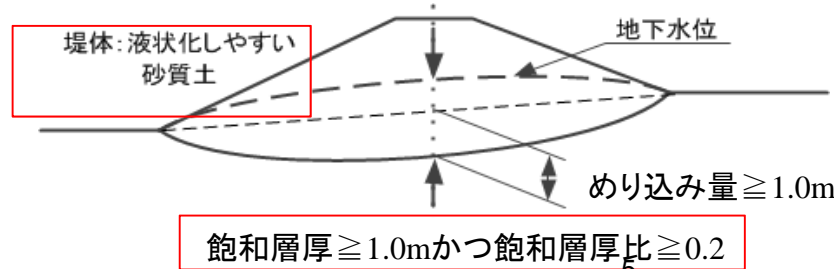
## ④基礎地盤条件＝軟弱粘性土

雨水等による浸透水が滞留しやすい。また、圧密沈下による堤体のめり込み量が大きくなりやすい地盤条件。

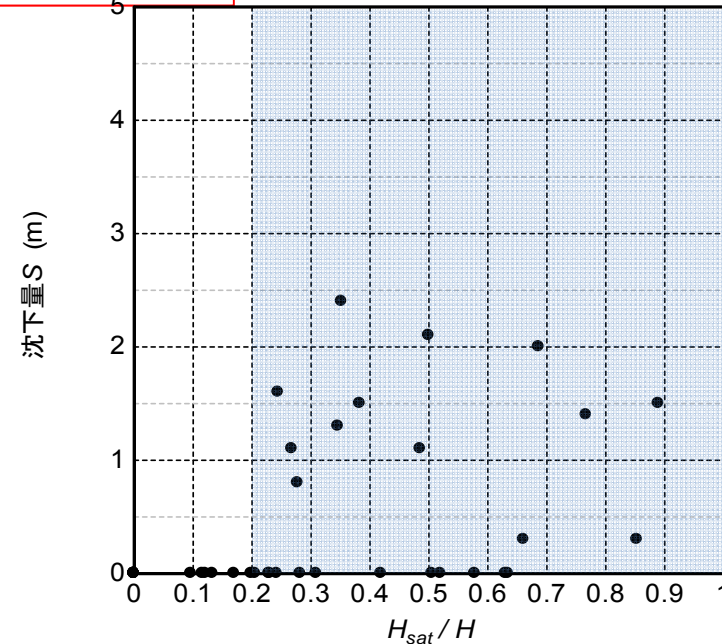
# 堤体の液状化の可能性の判定(盛土材料とめり込み量)

東北地方太平洋沖地震による河川堤防の大規模被災箇所のうち、堤体の液状化が一因と考えられる直轄河川堤防とその近傍の無被災箇所について整理

液状化判定の対象となる  
 $FC < 35\%$   
 あるいは  $FC > 35\%$  かつ  
 $I_p < 15$  の範囲



堤体土の土質



堤体内の飽和層厚比 ( $H_{sat}/H$ )

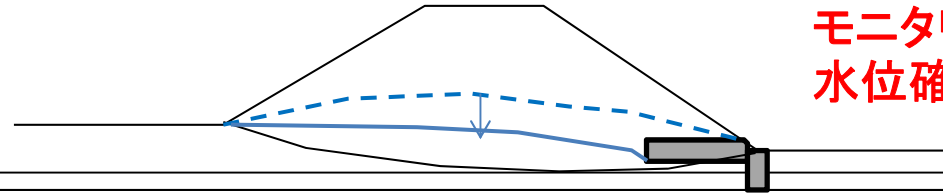
「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」, 2012年2月に反映

# 堤体液状化の対策の当面の考え方

## 地下水位低下工法(裏のり尻にドレーン工を設置)

堤体内水位を低下させ堤体内の液状化する範囲を減じる。  
浸透流解析等により目標とする地下水位となる形状寸法等を設定

モニタリングによる  
水位確認が必要

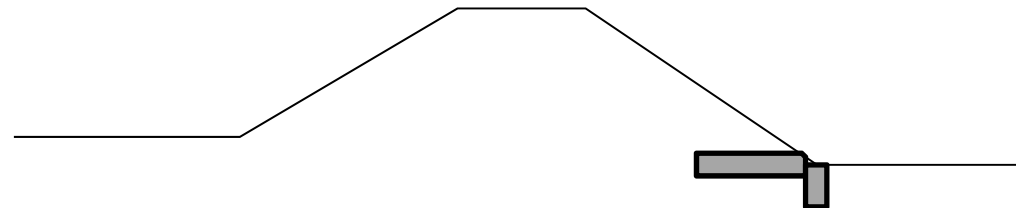


## のり尻安定化工法

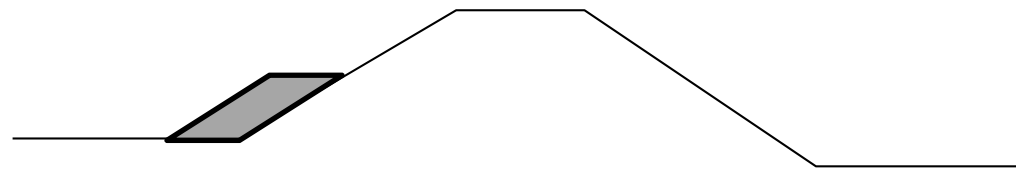
のり尻付近の堤体の液状化に伴う強度低下をきっかけとして堤防が変状し始めるため、のり尻付近の安定化を図る工法。

模型実験の結果等を踏まえて形状寸法を規定

### その1(裏のり尻にドレーン工を設置)



### その2(主に表のり尻に、押え盛土工を設置)



被災した堤防の復旧, 対策事業に反映

## 2. 河川堤防の耐震性照査手法の高度化

# 被災箇所を検証解析

## 東北地方太平洋沖地震における被災・無被災堤防を対象に検証解析を追加実施

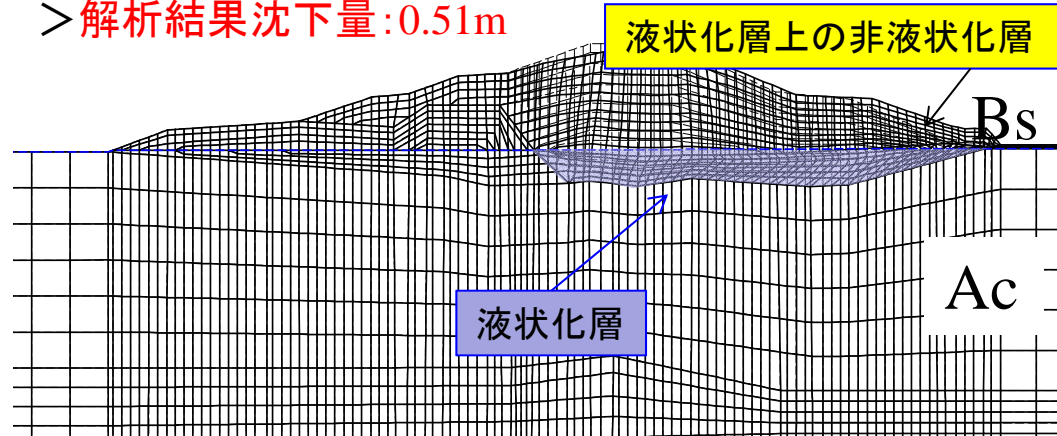
- ▶ 東北地方太平洋沖地震によって被災した断面と周辺の被災しなかった断面
- ▶ 対策工(液状化に対しても効果が発揮される可能性のあるため止水矢板も含む)が入っていないこと。
- ▶ 調査結果の充実した断面であること。
- ▶ 堤体のみでの液状化で被災したと考えられる断面、堤体と基礎地盤が複合して被災したと考えられる断面
- ▶ 堤防高さ: 2.5m~9.8m
- ▶ 沈下量: 0m~2.4m

被災分類	No.	河川名	地先名	距離標	堤防高さ(m)	沈下量(m)
堤体液状化	堤1	阿武隈川	坂津田	R22.5k+70	4.8	2.4
	堤2	阿武隈川	枝野	R31.0k+50	5.6	2.1
	堤3	久慈	本米崎	R7.0k+140	4.5	1.6
	堤4	江合川	上谷地	L14.4k	3.5	1.2
	堤5	阿武隈川	小斉	R32.9k+70	4.7	1.1
	堤6	久慈	本米崎	R7.0k+100	4.7	0.4
	堤7	新江合川	楡木	R2.84k	5.9	1.5
	堤8	阿武隈川	小斉	R32.8k	5.4	0
	堤9	江戸	西関宿	R57.7k+15	9.8	0
堤体・基礎地盤液状化	堤基1	江合川	福沼	R26.8k	3.1	1.4
	堤基2	利根	横瀬	L18.5k+350	3.5	2
	堤基3	鳴瀬川	砂山	L11.5k	5.3	1.5
	堤基4	利根	布川	L74.5k	7.0	0.6
	堤基5	利根	横瀬	L18.5k+450	2.5	0.5
	堤基6	阿武隈川	野田	L28.8k+85	4.8	0.15
	堤基7	利根	歩	L67.50k	7.1	1.9
	堤基8	利根	歩	L68.0k+c	7.3	0.8

# 代表的な解析結果

○堤2 阿武隈川枝野 R31.0k+50m(実測沈下量2.10m)

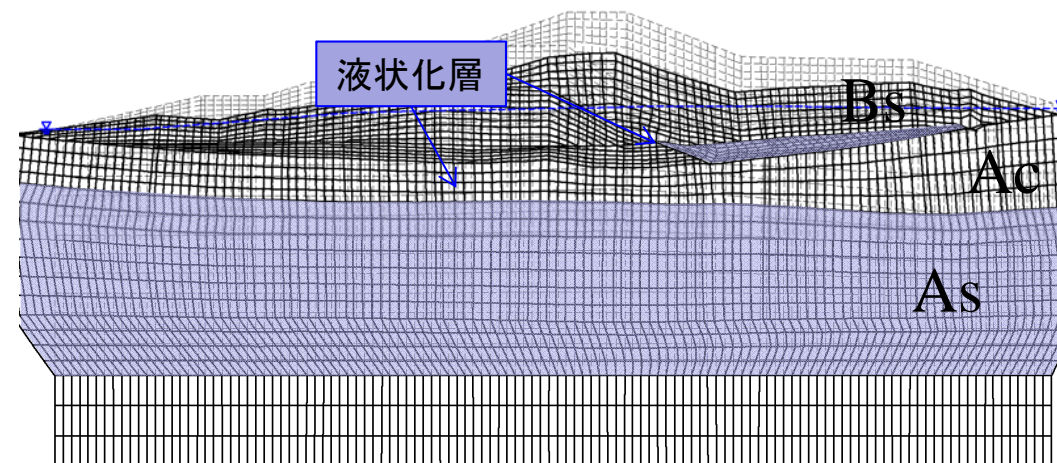
> 解析結果沈下量:0.51m



液状化層の上の非液状化層に变形を押し込め込まれたような形状

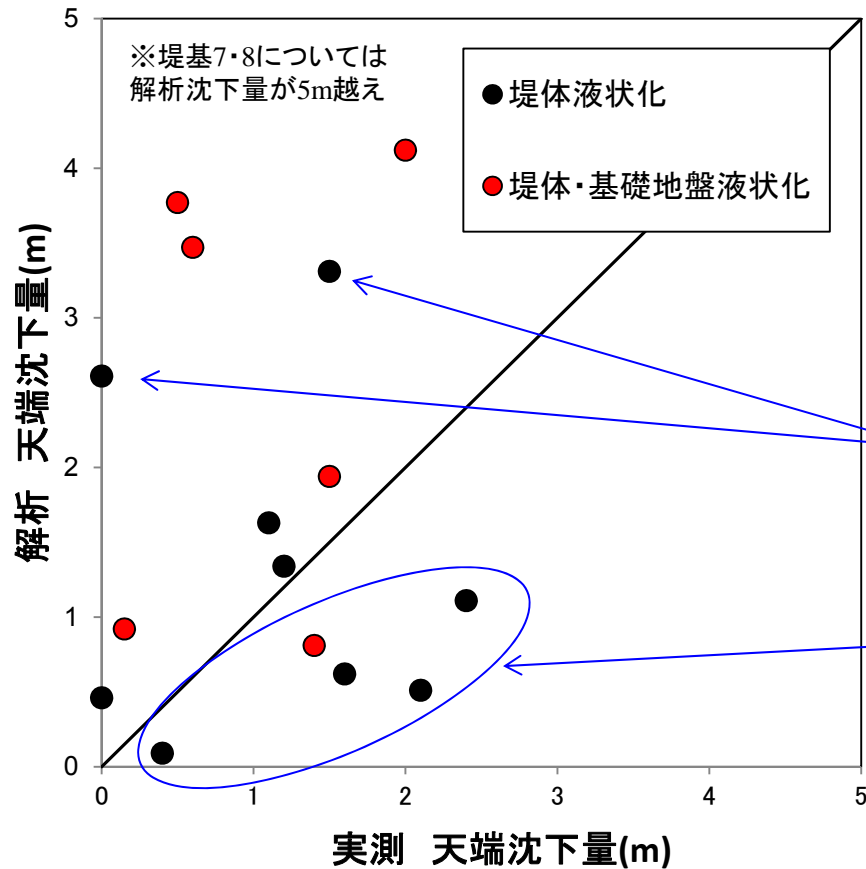
○堤8 阿武隈川小斉 R32.8k(実測沈下量0m)

> 解析結果沈下量:2.61m



基礎地盤のAs層の液状化により大きな沈下量

# 解析結果の傾向



- ▶ 堤体・基礎地盤の液状化は、全般的に  
解析 > 実測  
(解析上かなり大きな沈下量の断面もあり)
- ▶ 堤体の液状化では、解析と実測の大小関係がバラバラに見えるが...

・堤体の液状化によって被災した断面には、液状化判定上基礎地盤も液状化すると判定される断面あり。これらでは、  
解析 > 実測

・液状化判定以上堤体のみ液状化と判定される断面  
解析 < 実測

現行の解析手法は以下の傾向

- ▶ 堤体の液状化は、過小
- ▶ 基礎地盤の液状化は、過大

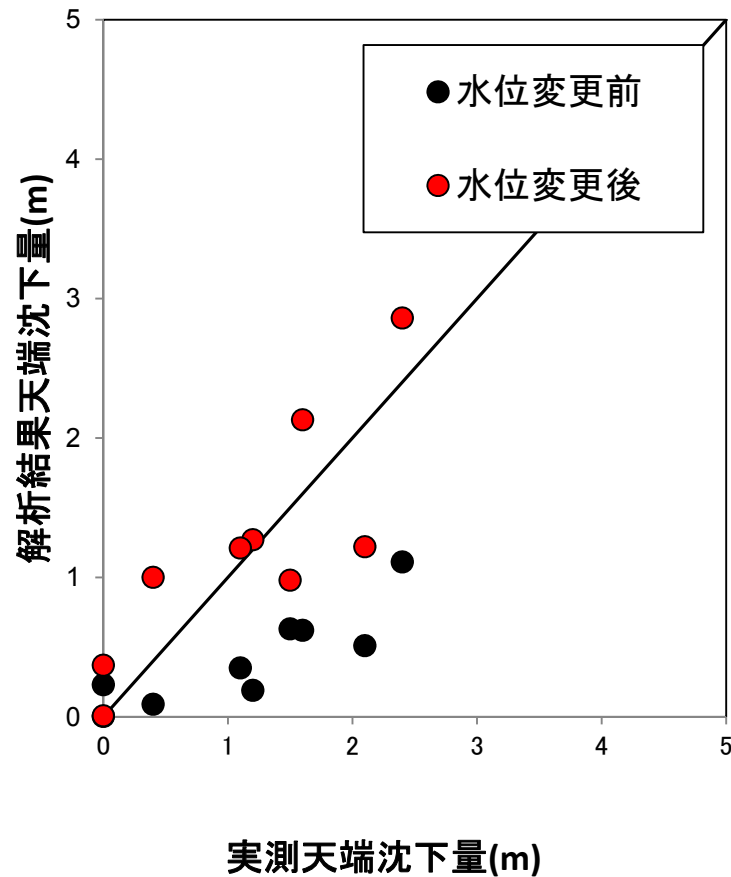
解析手法の改善

- ▶ 堤体・基礎地盤の別けなく解析
- ▶ 対策の設計にも使用



# 堤体の液状化に関する改善

☆地下水位を一律50cm上昇させて解析を実施



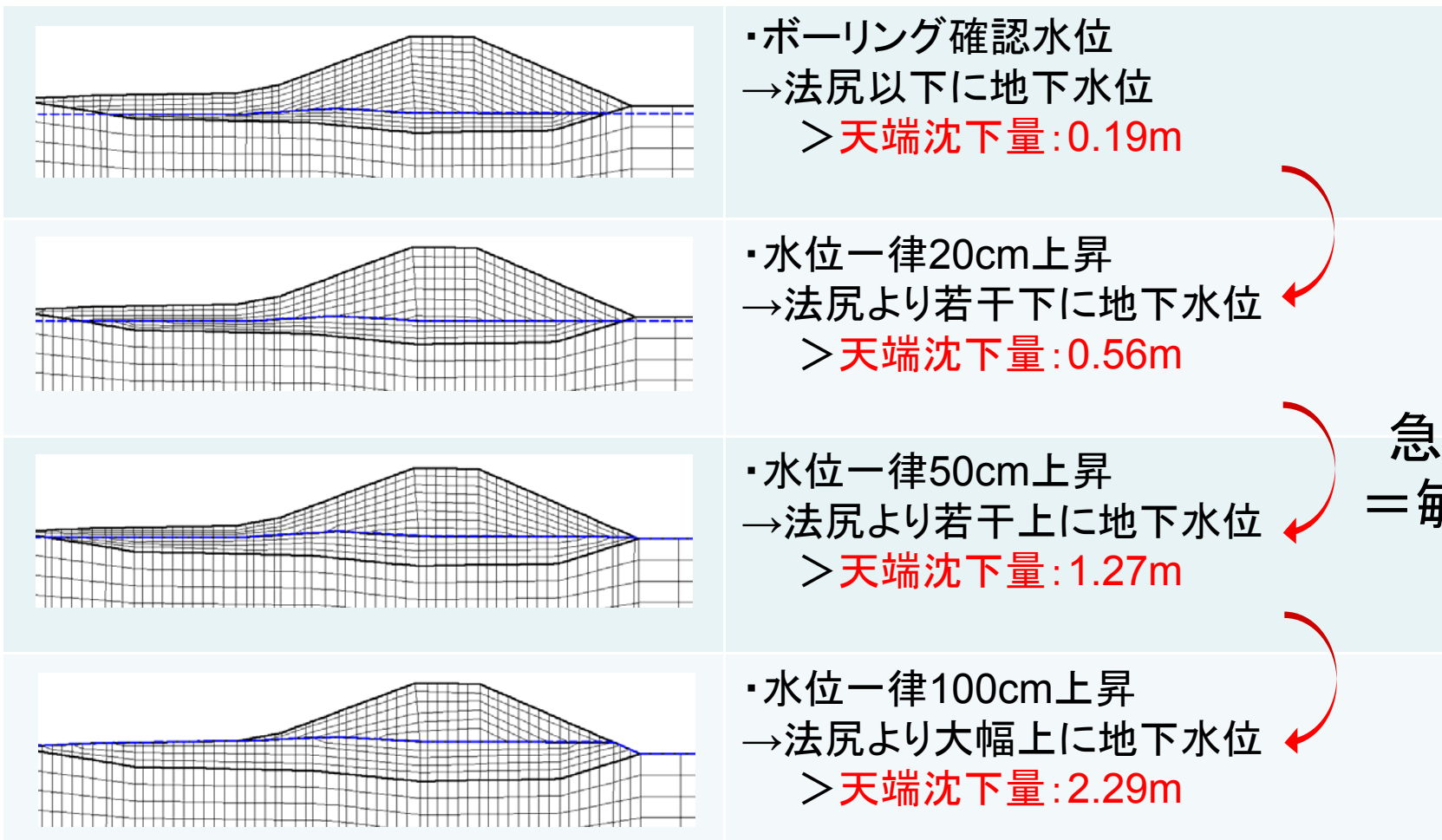
- ▶ 水位をボーリング確認水位にて解析を行った結果、概ね図の下方にプロットされていた
- ▶ 一般に飽和した領域はサクシヨンの効果により孔内水位よりも高い傾向
- ▶ ボーリング確認水位よりも一律50cm高い水位にて解析を実施
- ▶ 結果、実測に近い沈下量が求められた。

※基礎地盤は全て非液状化層として解析を行った。



# 堤体の液状化の法尻部水位の感度分析

○堤4 江合川上谷地 L14.4k (実測沈下量1.20m)



急増  
= 敏感

- ▶ のり尻部の水位により解析結果が大きく変化(のり尻付近の水位が耐震性に大きく影響)
- ▶ 堤体内水位の調査法も含め、水位の設定、モデル化の検討が必要

### 3. 堤体液状化の対策工法の検討

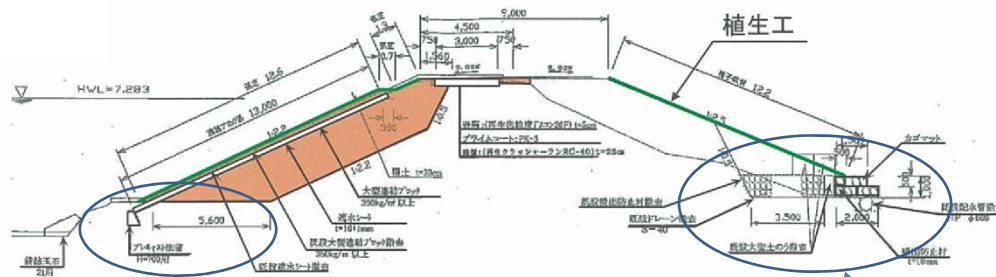
# 既設対策工の効果 (鞍坪川右岸0.4k付近～0.6k付近:浸透対策実施箇所)



天端の縦断亀裂および段差 (4/15)



裏のりの状況 (4/15)



2003年宮城県北部の地震における  
本復旧断面図

護岸工, 遮水矢板

裏のり尻ドレーン

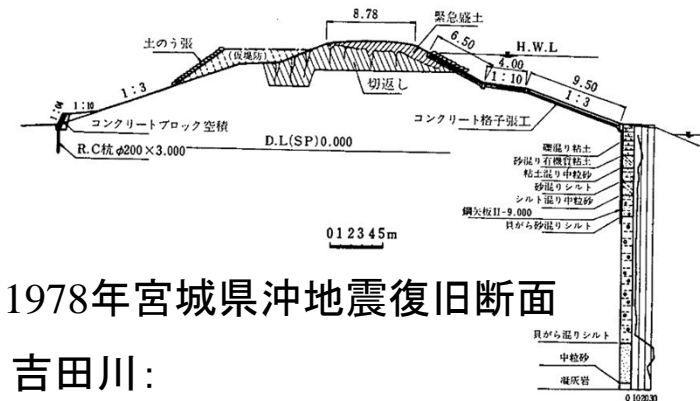
- ▶ 2003年7月宮城県北部の地震により被災し, 本復旧にあたり表のりに護岸工, 遮水矢板, 裏のり尻にドレーン (高さ50cm × 2段)が設置された箇所.
- ▶ 裏のりには特に変状が認められない. 堤体の上部で変形が生じたものと考えられる.

# 既設の護岸による変形抑制



江合川湍尻上流：  
条件護岸の端部以降で変状が顕著となっている

・連接ブロックなどの護岸であれば、ある程度変形しながらも大崩壊を抑制している可能性

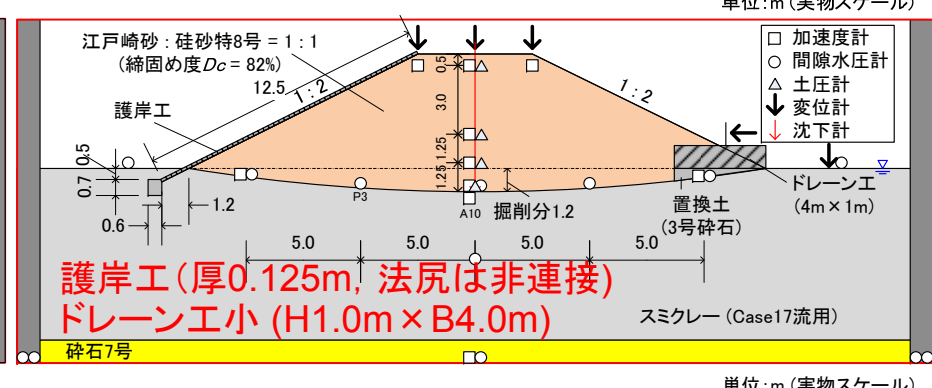
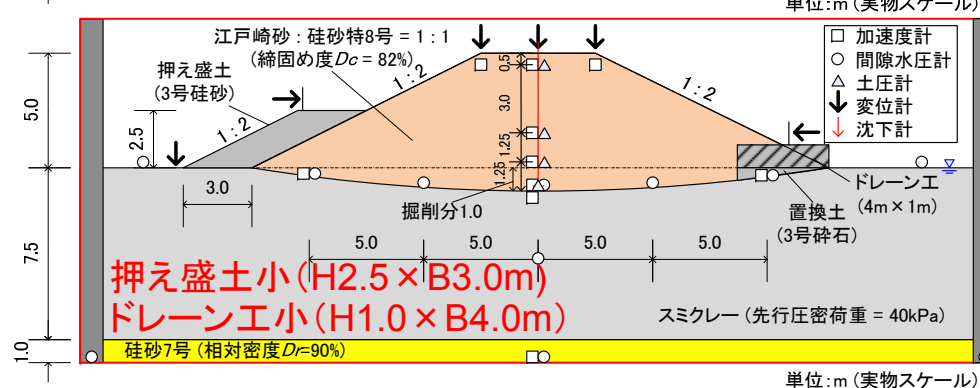
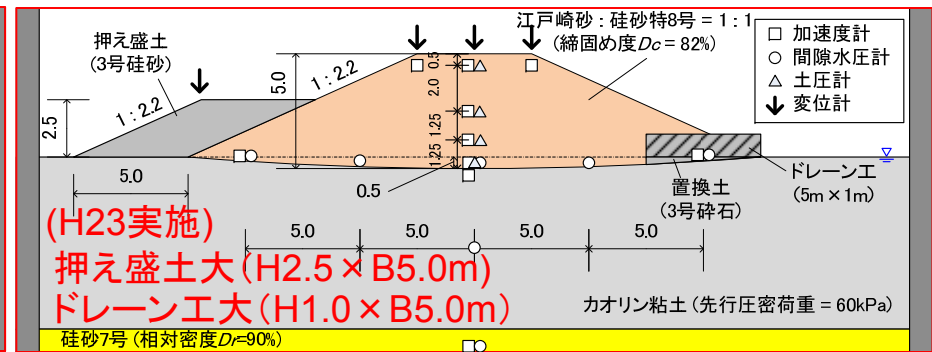
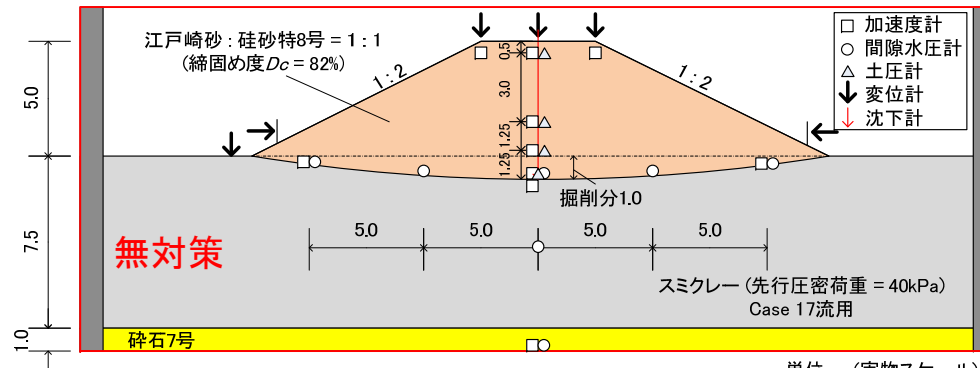


1978年宮城県沖地震復旧断面

吉田川：  
護岸下部がはらみだし、破損しているもの、大規模な崩壊は生じていない

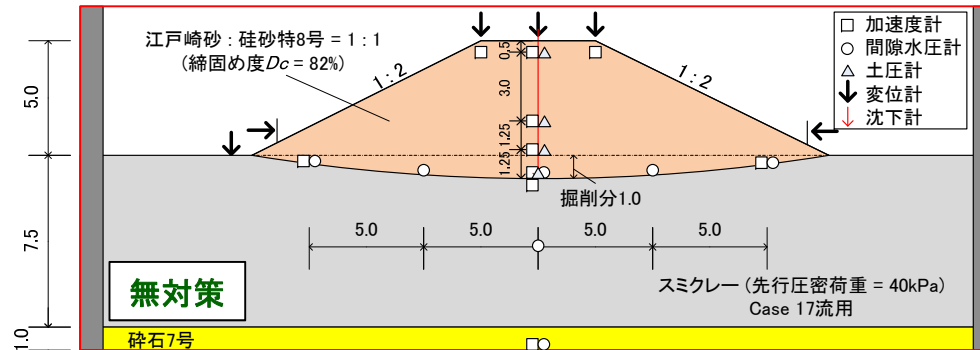


# 堤体の液状化対策実験の概要

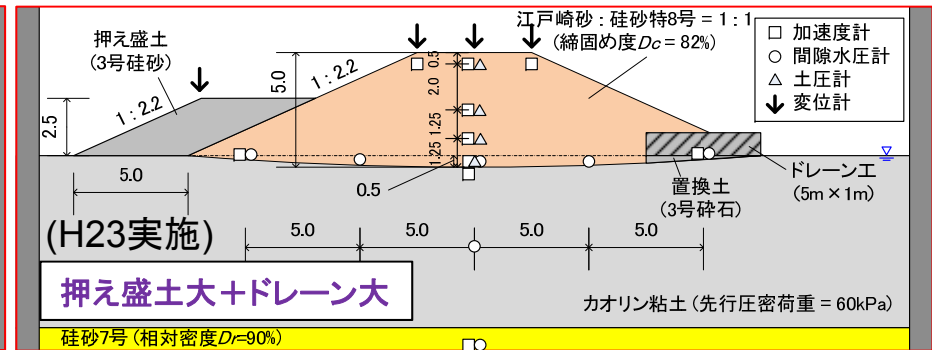


- 堤体直下の粘性土地盤を凹状に掘り込み，その上に堤防模型 ( $D_c = 82\%$ ) を設置
- 遠心加速度：50G
- 入力地震動：道路橋示方書標準波形 (タイプI, II種地盤, 板島橋TR)
- のり尻の安定化を図るため，H23年度は川表側に押え盛土大，川裏側にドレーン工大のケースを検討
- 今年度は川表側に押え盛土小と護岸工，川裏側にドレーン工小を施したケースを検討  
護岸工としては接続していないブロックを模擬したアルミ板

# 押え盛土・ドレーンの効果の検証



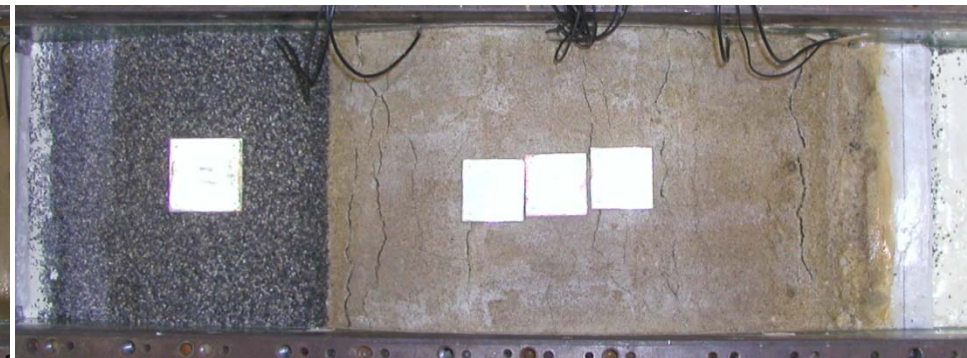
単位:m (実物スケール)



単位:m (実物スケール)



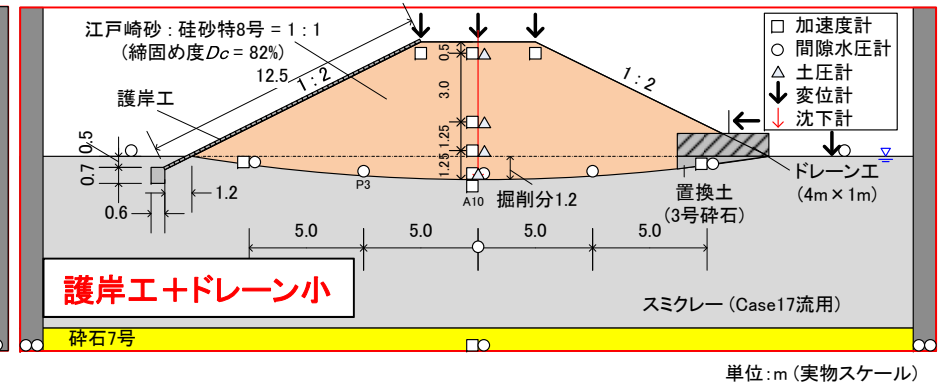
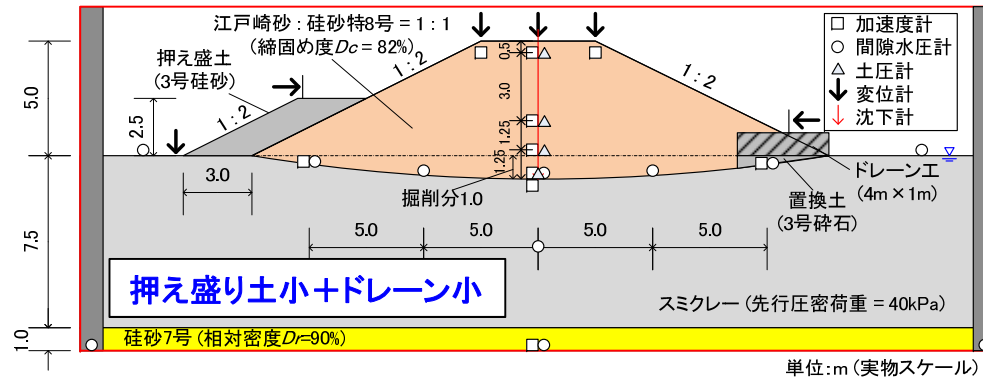
天端沈下0.75m



天端沈下0.50m

- 規模の大きいドレーン工や押え盛土を施すと、沈下量を抑えることが可能。
- 縦断亀裂の発生も大幅に抑制。

# 押え盛土・ドレーン・護岸工の効果



天端沈下0.65m



天端沈下0.68m

- 規模を縮小した押え盛土とドレーン工、護岸工(法尻付近は非接続)とドレーン工の組み合わせでも、沈下量のある程度抑えることが可能。
- しかし、規模の大きいドレーン工や押え盛土を施したケースほど、開口亀裂は減少していない。
- 護岸工については実構造を踏まえたモデル化について検討が必要

## 4. まとめと今後の課題

### ①東日本大震災を踏まえた対応

- ・堤体液状化に対する照査手法，対策手法等を暫定的に提案し，指針，マニュアルに反映。

### ②河川堤防の耐震性照査手法の高度化

- ・被災事例を対象とした検証の結果，堤体内水位の設定，深い液状化層の評価に課題
- ・堤体液状化については，堤体内ののり尻付近の水位設定が大きく影響  
調査法と併せて，堤体内水位の設定法について検討予定（堤体内の水位観測を現在実施中）
- ・深い液状化層（沖積層）については，液状化判定法の高度化と併せて，地震動の増幅特性，年代効果，細粒分の影響等を踏まえた液状化強度の評価，剛性低下の評価等について検討する予定

### ③堤体液状化の対策工法の検討

- ・模型実験により堤体の液状化の対策工法の効果を検証
- ・規模の大きい押え盛土とドレーン工を組み合わせた場合，天端の沈下とクラックが減少。規模を縮小した押え盛土やブロックを模擬した護岸工でもドレーン工を組み合わせることで天端沈下量の減少が見られたが，クラック量に大きな変化は見られない
- ・今後は，実構造を踏まえたモデル化について検討するとともに，設計法の提案に向けた検討を行う予定